

Optimización de Modelos en Elementos Finitos de los Maniqués Hybrid-III Percentiles 50% y 95% para su Aplicación en Transporte Ferroviario

L. Martínez Sáez¹, R. Peláez Bravo², V. Gómez-Elvira López³, A. García Álvarez⁴

¹INSIA, Universidad Politécnica de Madrid. luis.martinez@upm.es

²INSIA, Universidad Politécnica de Madrid. raquel.pelaez.bravo@alumnos.upm.es

³INSIA, Universidad Politécnica de Madrid. v.gomez-elvira@alumnos.upm.es

⁴INSIA, Universidad Politécnica de Madrid. a.garcia@upm.es

En este artículo se presenta la metodología seguida para el desarrollo de los modelos matemáticos de los maniqués Hybrid-III 50% y 95%, los cuales son capaces de predecir correctamente los criterios de lesión asociados a cada región del cuerpo. Como aplicación práctica de los modelos, se evalúa la seguridad de butacas de tren mediante técnicas de simulación.

En primer lugar se han desarrollado los modelos a través de su geometría tridimensional. También han sido asignados los diferentes materiales y propiedades de cada parte de los maniqués. Posteriormente se ha seguido un proceso de optimización y de mejora que incluye la verificación y validación de los maniqués virtuales. Dicha validación se realiza a partir de los maniqués físicos y de los datos experimentales que posee el Laboratorio de Seguridad Pasiva (LSP) del INSIA de la UPM, utilizando los maniqués en varias configuraciones. Finalmente, se realiza el proceso de optimización de estos modelos virtuales para que representen lo más fielmente posible la realidad, que su comportamiento sea preciso y que el tiempo de cálculo o coste computacional sea el menor posible.

Una vez creados los modelos en elementos finitos de ambos maniqués, se emplean para analizar la seguridad de las butacas de tren mediante la simulación de los ensayos dinámicos que se describen en la norma GM/RT2100. Esta norma exige dos configuraciones de ensayo para evaluar la seguridad de las butacas. La primera configuración sirve para evaluar la resistencia y la integridad estructural de la butaca y sus anclajes mediante el uso de dos maniqués Hybrid-III 95%. La segunda configuración se utiliza para evaluar la protección que las butacas ofrecen al ocupante mediante el uso de un maniqué Hybrid-III 50% instrumentado. En ambas configuraciones se realizan impactos en sentido de la marcha y en el sentido contrario y se compran los valores registrados en los maniqués tanto en los ensayos reales como en las simulaciones matemáticas.

1. Introducción

La seguridad de las personas en el transporte es un campo de estudio e investigación importante desde hace varias décadas. Actualmente los vehículos llevan incorporados diferentes sistemas cuyo objetivo es intentar evitar accidentes (seguridad activa o primaria) o bien, reducir los efectos adversos producidos sobre las personas cuando la colisión ya se ha producido (seguridad pasiva o secundaria).

A partir de la necesidad de investigación en materia de seguridad pasiva, surgen los ensayos de choque o *crash tests*. En estos ensayos se utilizan dispositivos antropomórficos, también llamados maniqués de impacto o *dummies*, que son los encargados de representar el comportamiento del cuerpo humano. Los maniqués tienen la misión de recopilar todos los datos necesarios para poder evaluar de forma cuantitativa las prestaciones de seguridad de un determinado sistema incorporado en un vehículo. Esta evaluación se utiliza tanto para el desarrollo de sistemas de seguridad, así como en la homologación o validación de los mismos.

En la actualidad existen diversos organismos de control de seguridad para los distintos tipos de vehículos, como por ejemplo: EuroNCAP, IIHS, ADAC, NHTSA, Agencia Estatal de seguridad Ferroviaria y Junta Nacional de Seguridad del Transporte o National Transportation Safety Board (NTSB). Entre las actividades desarrolladas por estos organismos se encuentra la investigación de los accidentes más importantes, evaluación de la seguridad

a través de informes, analizar la evolución de daños en las diferentes pruebas, etc. A partir de estos datos se ayuda al desarrollo de los diferentes sistemas de seguridad.

Los principales elementos de seguridad pasiva en los trenes son aquellos destinados a absorber la energía el impacto, para ello cuentan con zonas diseñadas para que se produzcan deformaciones controladas junto con un acondicionamiento interior diseñado para mitigar las consecuencias del impacto en los viajeros. La aplicación de los maniquíes objeto de este artículo se centra en la evaluación de los componentes interiores del vehículo, que se realiza a través de ensayos de impacto con maniquíes.

Dada la gran dificultad práctica para llevar a cabo ensayos de choque en vehículos ferroviarios, es posible la realización de estos ensayos mediante simulación matemática. Además, en los últimos años los ordenadores han aumentado su potencia computacional considerablemente, lo que ha hecho que los modelos en elementos finitos se hayan convertido en una de las principales herramientas para la evaluación de la seguridad. De aquí la importancia de disponer de los modelos virtuales optimizados y validados de los maniquíes necesarios en estos tipos de ensayos, que son el Hybrid-III 50% y el Hybrid-III 95%.

2. Modelado y Validación de los Modelos FEM

La metodología seguida para el desarrollo de los modelos FEM de los maniquíes Hybrid-III 50% y 95% es la que se muestra en la figura 1. El primer paso consiste en crear la geometría de los maniquíes, para lo cual se ha partido de datos geométricos de dos modelos (desarrollados en LS-Dyna): uno del Hybrid-III 50% y otro del Hybrid-III 95% (este maniquí es un escalado del primero). Además, se ha recurrido a los planos, catálogos, informes y maniquíes reales de los que dispone el Laboratorio de Seguridad Pasiva (LSP) del INSIA para comprobar y validar el modelo geométrico desarrollado. Una vez obtenidos los modelos de los maniquíes en elementos finitos, será necesario asignar a cada pieza su propiedad y material correspondientes. Esto se realiza haciendo uso de los mismos recursos citados anteriormente.

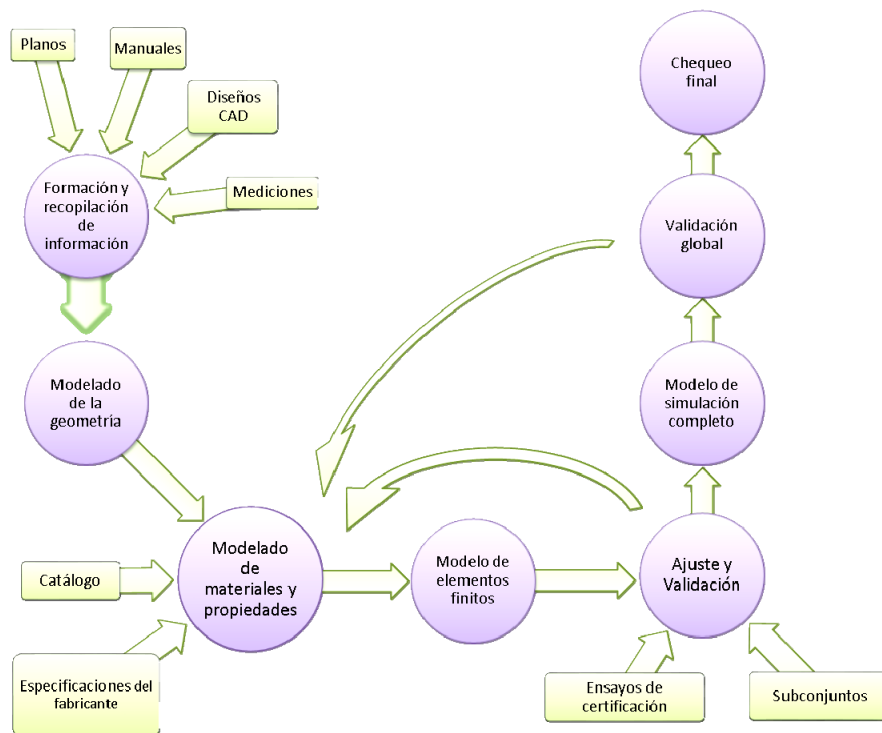


Figura 1: Esquema de la metodología seguida para el desarrollo de los modelos FEM de los maniquíes.

Además de modelar cada una de las partes y uniones de los maniquíes, también se ha incorporado toda la instrumentación que pueden llevar instalada estos maniquíes (si bien, en la práctica los maniquíes utilizan un menor número de sensores). En la tabla 1 se detalla toda la instrumentación modelada e incorporada en los modelos virtuales de maniquíes objeto de este artículo, que principalmente está formada por acelerómetros, células de carga y medidores de distancia situados en las partes más importantes del cuerpo de los maniquíes y los cuales son equivalentes a la instrumentación física que puede llevar el maniquí (de esta forma se puede comparar directamente los valores registrados en ambos maniquíes).

Tabla 1: Instrumentación de los modelos virtuales Hybrid-III 50% y 95%.

Parte	Instrumentación	Dirección	Modelado
Cabeza	Acelerómetro triaxial en cdg	Ax, Ay, Az	Acelerómetro
Cuello	Célula de carga	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Muelle
Cabeza-Torso	Transductor angular	θ_y	Malla
Tórax	Acelerómetro triaxial en cdg	Ax, Ay, Az	Acelerómetro
	Potenciómetro	Dx	Muelle
Fémur Derecho	Célula de carga	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección
Fémur Izquierdo	Célula de carga	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección
Rodilla Derecha	Potenciómetro	Dx	Muelle
Rodilla Izquierda	Potenciómetro	Dx	Muelle
Tibia Derecha	Célula de carga Upper Tibia	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección
	Célula de carga Lower Tibia	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección
Tibia Izquierda	Célula de carga Upper Tibia	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección
	Célula de carga Lower Tibia	Fx, Fy, Fz Mx, My, Mz	Sección

Una vez obtenidos los modelos completos, es necesario realizar la verificación y validación [1] de cada uno de ellos. Este proceso consiste en determinar el grado de fidelidad con el que los modelos en elementos finitos son capaces de representar la realidad. Habitualmente se pueden diferenciar dos partes, una en la que se verifica y se eliminan los errores en el código fuente del modelo, y otra en la que se verifica la calidad de las soluciones numéricas obtenidas. Además también se busca precisión en los resultados y la obtención de los datos o parámetros que físicamente no se pueden conseguir. Todo esto es necesario para comprobar y ajustar el comportamiento del modelo, ya que el objetivo final es que representen fielmente a los maniqués reales.

Para conseguir que los modelos sean robustos y predictivos, es necesario someterlos a diversos procesos de validación [2], en los cuales la fidelidad y exactitud se evalúa cualitativa y cuantitativamente. En general, la evaluación cualitativa consiste en realizar comparaciones entre las simulaciones y los ensayos reales del laboratorio atendiendo a las zonas de impacto y a las principales características de los componentes tras el choque. En cambio, la evaluación cuantitativa se centra en las aceleraciones y cargas de impacto en las diferentes configuraciones de ensayo y posiciones de los maniqués.

La primera verificación a realizar corresponde a la comprobación de las masas. Cada uno de los subconjuntos que conforman cada maniquí, tiene que cumplir unos requisitos establecidos. Para el desarrollo de esta validación másica se han tenido en cuenta tanto los valores establecidos por normativa, como el pesaje de los maniqués reales de los que dispone el LSP del INSIA. En la tabla 2 se muestra el desglose de pesos para el Hybrid-III 50% [3, 4] y en la tabla 3 se muestra el análogo para el Hybrid-III 95% [3, 5].

Tabla 2: Comparación de masas entre el modelo virtual y el maniquí Hybrid-III 50%.

CONJUNTO		Requisitos norma		Peso medio maniqués	Peso Modelo FEM
		Mín. (kg)	Máx. (kg)	(kg)	(kg)
Cabeza	Cabeza	4,49	4,59	4,55	4,54
Cuello	Cuello	1,49	1,59	1,51	1,55
Tórax	Torso Superior	17,05	17,33	17,07	17,27
Pelvis	Torso Inferior	22,90	23,81	23,07	23,07
Pierna	Pierna Superior	5,90	6,08	5,97	6,04
	Pierna Inferior	4,22	4,36	4,40	4,35
	Pie	1,09	1,23	1,15	1,14
Brazo	Brazo Superior	1,91	2,09	2,03	1,96
	Brazo Inferior	1,65	1,75	1,69	1,67
	Mano	0,52	0,61	0,55	0,53
TOTAL MANIQUÍ HIII-50th		76,52	78,88	77,76	77,81

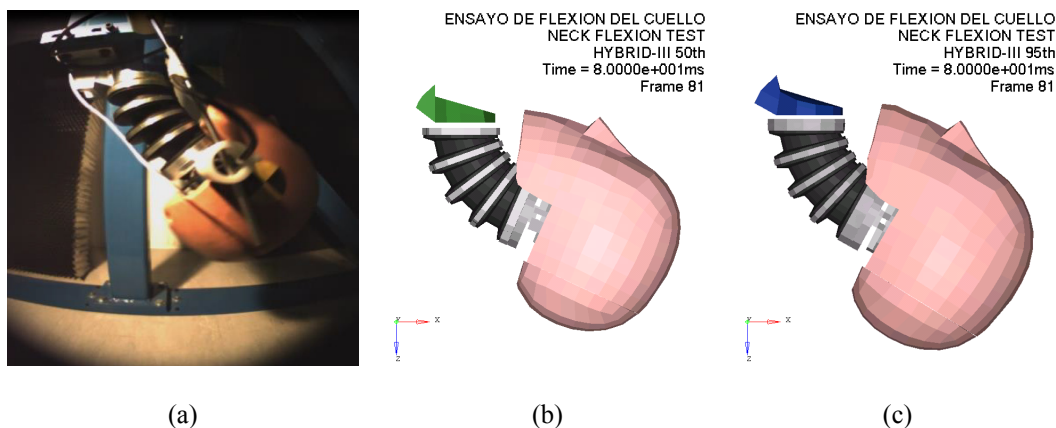
Tabla 3: Comparación de masas entre el modelo virtual y el maniquí Hybrid-III 95%.

CONJUNTO		Requisitos norma		Peso medio maniqués	Peso modelo FEM
		Mín. (kg)	Máx. (kg)	(kg)	(kg)
Cabeza	Cabeza	4,90	4,99	4,95	4,91
Cuello	Cuello	1,63	1,72	1,65	1,66
Tórax	Torso Superior	21,91	22,63	22,24	21,96
Pelvis	Torso Inferior	29,94	30,66	29,96	30,03
Pierna	Pierna Superior	8,12	8,30	8,21	8,14
	Pierna Inferior	5,66	5,84	5,73	5,75
	Pie	1,52	1,66	1,54	1,59
	Zapatos	1,04	1,40	-	1,274
Brazo	Brazo Superior	2,72	2,90	2,80	2,86
	Brazo Inferior	2,02	2,11	2,08	2,09
	Mano	0,52	0,61	0,54	0,55
TOTAL MANIQUÍ HIII-95th		99,61	102,87	101,84	101,85

Una vez comprobadas las masas, es necesario realizar la validación del comportamiento de los modelos FEM para asegurar que la respuesta de éstos es similar a la de los maniqués reales.

Todos los maniqués se someten a ensayos de certificación de los diferentes componentes, así como ensayos de certificación en todo su conjunto. Con ello se busca que las propiedades dinámicas del maniquí se mantengan en unos niveles controlados, permitiendo la repetibilidad y reproducibilidad de los ensayos entre los laboratorios. Si un maniquí no cumple con las prestaciones de la certificación, es necesario sustituir las piezas necesarias para que vuelva a tener las prestaciones de origen. Los modelos de elementos finitos también han sido sometidos a los mismos ensayos de certificación para validar cada una de los componentes. Cada maniquí tiene definido una serie de ensayos para realizar su certificación. En el caso del Hybrid III 95%, el número de ensayos es inferior a los definidos en la unidad del 50%. Sin embargo, para mejorar la validación de los modelos virtuales y dada la analogía entre ambos maniqués, se han reproducido virtualmente todos los ensayos posibles. Por lo tanto cada modelo de maniquí se someterá a los ensayos de certificación que tienen definidos junto con los ensayos que se realizan en la otra unidad, puesto son de la misma familia y poseen una estructura equivalente.

A modo de ejemplo de las simulaciones de los ensayos de certificación, en la figura 2 puede verse un fotograma del ensayo real y el análogo de las simulaciones del ensayo de certificación del cuello de los dos Hybrid-III.

**Figura 2:** Ensayo de flexión del cuello: (a) Ensayo real (b) Modelo Hybrid-III 50% (c) Modelo Hybrid-III 95th.

Aplicando el mismo procedimiento, se han realizado todos los ensayos de certificación de cada uno de los maniqués. Para ir ajustando el modelo se han utilizado los resultados de los ensayos de certificación reales de los maniqués que posee el LSP del INSIA. Tal y como se ha explicado anteriormente, cada uno de los ensayos está normalizado de forma que se encuentran definidos cuales son los parámetros a registrar, así como los valores de aceptación de cada uno de ellos (generalmente mediante criterios del tipo pasa / no pasa).

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos después del ajuste y validación del modelo FEM del Hybrid-III 50%. En ella se muestran los valores mínimos y máximos que establece la norma para cada una de las medidas que

hay que tomar, así como el valor obtenido en el modelo de elementos finitos (desarrollado en RADIOSS). Cabe destacar que el único ensayo simulado que no es obligatorio para este maniquí es el correspondiente al ensayo de flexión del torso.

Tabla 4: Resultados obtenidos de la simulación de los ensayos de certificación del Hybrid-III 50%.

Ensayo de certificación	Criterios	Norma		Modelo RADIOSS
		Mín.	Máx.	
Cabeza	Aceleración resultante (g)	225	275	247,22
Flexión del cuello	Rotación máxima plano-D (rad)	1,117	1,361	1,21
	Tiempo rot. Máx. Plano-D (ms)	57	64	58,75
	Tiempo corte plano-D (ms)	113	128	116,25
	Momento occipital máximo (Nm)	88,1	108,4	94,77
	Tiempo momento Occ. Máx.(ms)	47	58	48,75
	Tiempo corte mom. Occ.(ms)	97	107	98,07
	Rotación máxima plano-D (rad)	1,414	1,85	1,61
Extensión del cuello	Tiempo rot. Máx. Plano-D (ms)	72	82	79,75
	Tiempo corte 0 plano-D (ms)	147	174	168,75
	Momento occipital máximo (Nm)	-80	-53	-60,87
	Tiempo momento Occ. Máx.(ms)	65	79	72,4
	Tiempo corte mom. Occ.(ms)	120	148	137,85
	Desplazamiento tórax máximo (mm)	63,5	72,66	0,962
	Fuerza de impacto máxima (N)	5160	5864	5264
Impacto de tórax	Histéresis (%)	69	85	71,17
	Fuerza en 0,52 rad (N)	475	550	506,3
	Ángulo para momento <95 Nm (rad)	0,52	-	0,527
Flexión del torso	Ángulo para momento 203 Nm (rad)	0,7	0,87	0,747
	Fuerza de impacto máxima (N)	4715	5782	5592
Movimiento de la cadera	Fuerza en desplazamiento de 10,2 mm (kN)	1,26	1,72	1,39
	Fuerza en desplazamiento de 17,8mm (kN)	2,27	3,1	2,72
Impacto de la rodilla	Fuerza de compresión de la tibia (kN)	2,8	3,8	3,64
Deslizamiento de la rodilla	Aceleración del péndulo (g)	245	345	294,4
Impacto parte inferior del pie (con zapato)	Momento en la tibia (Nm)	95	145	120,1
Impacto parte superior del pie				

Análogamente, la tabla 5 muestra los resultados obtenidos para el Modelo FEM del Hybrid-III 95%.

Tabla 5: Resultados obtenidos de la simulación de los ensayos de certificación del Hybrid-III 95%.

Ensayo de certificación	Criterios	Norma		Modelo RADIOSS
		Mín.	Máx.	
Cabeza	Aceleración resultante (g)	220	265	229,5
Flexión del cuello	Rotación máxima plano-D (°)	61	75	64,2
	Momento occipital máximo (Nm)	110	130	116,58
	Tiempo momento de decaimiento a 10 Nm (ms)	77	97	89,6
Extensión del cuello	Rotación máxima plano-D (°)	81	98	1,61
	Momento occipital máximo (Nm)	-66	-84	-75,7
	Tiempo momento de decaimiento a -10 Nm (ms)	100	120	117,3
Impacto del tórax	Desplazamiento tórax máximo (mm)	66	76	68,1
	Fuerza de impacto máxima (kN)	5,1	5,9	5,27
	Histéresis (%)	69	85	80,55
Flexión del torso	Fuerza en 0,52 rad (N)	475	550	530,3
Impacto de rodilla	Fuerza de impacto máxima (kN)	4,9	7,3	6,12
Deslizamiento de la rodilla	Desplazamiento máximo (mm)	15	18,3	16,2

En la tabla 6 se pueden observar los resultados de los ensayos de certificación adicionales realizados al modelo del Hybrid-III 95%. Como se ha comentado en párrafos anteriores, para este maniquí existe escasez de datos con los que comparar, por ello se han tomado como referencia los ensayos análogos realizados sobre el Hybrid-III 50%, aprovechando que de éste se poseen suficientes resultados reales, sin embargo los criterios de aceptación y rechazo no están definidos para el maniquí del 95%, por lo tanto no han sido de aplicación.

Tabla 6: Resultados obtenidos de la simulación de los ensayos de certificación adicionales del Hybrid-III 95%.

Ensayo de certificación	Criterios (Hybrid III 50th)	Norma		Modelo RADIOSS
		Mín.	Máx.	
Impacto parte inferior del pie (con zapato)	Fuerza de compresión de la tibia (kN)	2,8	3,8	3,84
Impacto parte inferior del pie (sin zapato)	Aceleración del péndulo (g)	245	345	306,16
Impacto parte superior del pie	Momento en la tibia (Nm)	95	145	134,45
Movimiento de la cadera	Ángulo para momento <95 Nm (rad)	0,52	-	0,528
	Ángulo para momento 203 Nm (rad)	0,7	0,87	0,715

Los ajustes y validación del modelo realizados hasta este momento, se han realizado de una forma subjetiva. Este proceso se ha basado en realizar comparaciones de forma cualitativa entre las gráficas resultantes de las simulaciones y las señales registradas de ensayos reales, de manera que las gráficas guarden cierta similitud y los valores numéricos obtenidos sean próximos. Inicialmente se ha llevado este proceso de ajuste y validación por motivos de tiempo en el desarrollo. Sin embargo, una vez que se han obtenido unos resultados subjetivamente satisfactorios, es necesario realizar un tipo de validación objetiva. Así, la valoración no depende del criterio de una persona, si no que se establecen parámetros objetivos, repetibles y reproducibles. La validación objetiva se ha llevado a cabo utilizando el software CORA. Este software realiza una comparación de señales mediante dos indicadores objetivos: verificación mediante corredores y verificación mediante correlación cruzada. El software puntúa la similitud entre ellas dando valores entre 0 y 1, donde 1 indicaría que las señales son idénticas. Como ejemplo ilustrativo, la figura 3 muestra los resultados para el ensayo de flexión del cuello obtenidos con CORA.

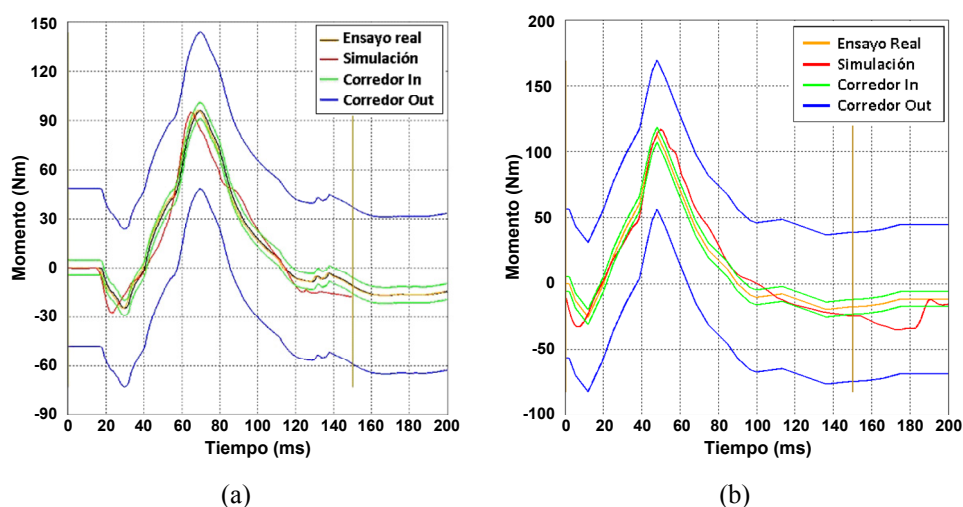


Figura 3: Resultados CORA: (a) Hybrid-III 50%: Puntuación 0,902; (b) Hybrid-III 95%: Puntuación 0,896.

En la tabla 7 se recogen todos los valores obtenidos para cada uno de los ensayos de certificación de los que se dispone de resultados reales. Estos valores se han obtenido ponderando las diferentes señales recogidas en cada ensayo, para finalmente obtener una valoración media global.

Tabla 7: Puntuaciones CORA para los ensayos de Certificación del Hybrid-III 50% y 95%.

Ensayos de Certificación	Puntuación CORA	
	Hybrid-III 50%	Hybrid-III 95th
Ensayo de cabeza	0,903	0,923
Ensayo de flexión del cuello	0,919	0,937
Ensayo de extensión del cuello	0,934	0,925
Ensayo de impacto del tórax	0,932	0,856

Ensayos de Certificación	Puntuación CORA	
	Hybrid-III 50%	Hybrid-III 95th
Ensayo de flexión del torso	0,953	0,972
Ensayo del movimiento de la cadera	0,922	-
Ensayo de impacto de rodilla	0,895	0,972
Ensayo de deslizamiento de rodilla	0,968	-
Ensayo de impacto de la parte inferior del pie (con zapato)	0,814	-
Ensayo de impacto de la parte inferior del pie (sin zapato)	0,911	-
Ensayo de impacto de la parte superior del pie	0,661	-
GLOBAL	0,892	0,928

3. Aplicación de los Modelos FEM

Como aplicación práctica de los modelos en elementos finitos de los maniquíes, se han simulado los ensayos de impacto para la evaluación de la seguridad de butacas de tren. Estos ensayos dinámicos se han realizado siguiendo los requisitos marcados en la norma GM/RT2100 [6], que indica las configuraciones de ensayo a realizar, así como los parámetros a obtener de cada ensayo junto con sus valores límite que determinan la seguridad de la butaca ensayada.

Una de las configuraciones sirve para evaluar la protección que las butacas ofrecen al ocupante cuando se produce una colisión. Para esta configuración se utiliza un maniquí Hybrid-III 50% y se realizan ensayos de impacto frontal y de impacto trasero. Los modelos resultantes se muestran en la figura 4.

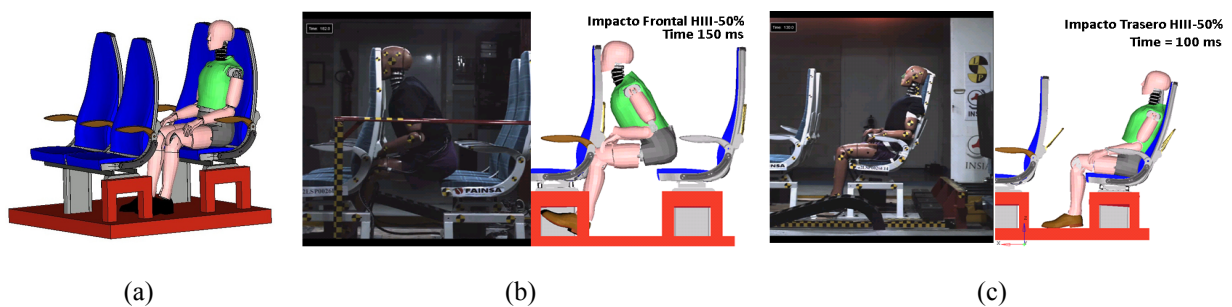


Figura 4: (a) Modelo para ensayo de potencial de lesiones; (b) Impacto frontal; (c) Impacto trasero.

Además, la norma existe una evaluación de la resistencia e integridad estructural de la butaca ensayada. En esta configuración se utilizan dos maniquíes Hybrid-III 95%, puesto que disponen de mayor masa, realizándose nuevamente ensayos de impacto frontal y trasero. Los modelos resultantes se muestran en la figura 5.

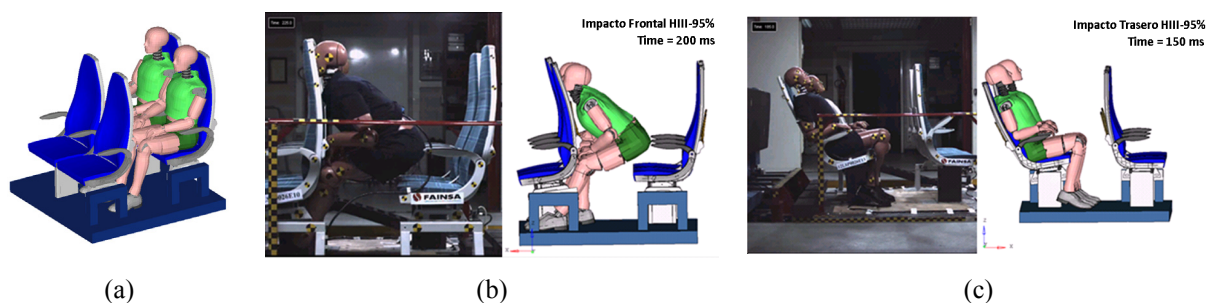


Figura 5: (a) Modelo para integridad estructural; (b) Impacto frontal; (c) Impacto trasero.

Se ha realizado una comparativa de las simulaciones con los ensayos reales disponibles en el Laboratorio, verificando una cinemática similar entre los ensayos físicos y los virtuales. En cuanto a los resultados numéricos (señales registradas por los maniquíes), de forma general se han obtenido buenos resultados aunque es necesario un mejor ajuste en especial en los valores registrados por las extremidades inferiores.

La precisión de los resultados obtenidos depende también del grado de certeza del modelo de la butaca (que también ha sido desarrollada de forma paralela). Se han utilizado estos ensayos, para verificar el comportamiento

de los maniquíes virtuales en entornos de ensayos dinámicos reales (y no solamente en los ensayos de certificación). Estos ensayos involucran mayor cantidad de energía y mayores velocidades que los definidos en la certificación, por lo tanto se comprueba la estabilidad numérica del modelo ante otro tipo de solicitaciones.

4. Conclusiones

Con el trabajo de desarrollo expuesto en este artículo, se han obtenido dos modelos en elementos finitos desarrollados en RADIOSS, uno para el maniquí de impacto Hybrid-III 50% y otro para el Hybrid-III 95%. Estos modelos han sido validados realizando una serie de simulaciones de los ensayos de certificación de las diferentes partes de los maniquíes. Para evaluar de forma objetiva esa validación se ha utilizado un software de comparación de gráficas cuyos resultados han sido positivos. En concreto los modelos FEM del Hybrid-III 50% y el Hybrid-III 95% han conseguido una puntuación de 0,892 y 0,928 respectivamente (sobre un máximo de 1). Estos valores son sinónimo de la precisión de los resultados predichos por los modelos virtuales. Atendiendo a esta puntuación, se considera que los modelos están correctamente validados. Además, la validación de los modelos se ha llevado tomando como referencia los datos de las unidades físicas disponibles en el laboratorio. Hay que hacer notar que no existen dos maniquíes físicos del mismo tipo cuya respuesta dinámica sea idéntica.

Por otro lado, los modelos validados también han llevado en paralelo un proceso de optimización. Con ello se pretende reducir al máximo el coste computacional asociado y así, reducir el tiempo de cálculo necesario para la obtención de los resultados, sin merma en la precisión de los resultados obtenidos.

Los modelos FEM obtenidos en RADIOSS de los maniquíes Hybrid-III de percentiles 50% y 95% tienen un menor número de elementos que otros modelos de simulación (desarrollados por ejemplo en LS-Dyna). Esto se ha conseguido sin pérdidas significativas en la precisión de la geometría de las piezas. Además el tiempo de paso o tiempo de integración se ha mejorado haciendo que los nuevos modelos desarrollados sean veinte veces más rápidos que los modelos de partida. Además, este proceso de optimización no ha sido realizado a costa de sacrificar prestaciones del modelo de simulación, sino todo lo contrario. Los modelos desarrollados del presente artículo cuentan con un comportamiento más fiel (mejor valoración con el software CORA) al de los maniquíes reales que el obtenido para otros modelos FEM de maniquíes comercializados actualmente.

Dentro de la aplicación práctica en las butacas de ferrocarril, la utilización de modelos totalmente verificados y validados ayuda a predecir fallos en el diseño de las butacas. Con ello se conseguiría complementar la fase de diseño, pudiendo reducir el número de ensayos reales necesarios durante el desarrollo o durante la evaluación de la seguridad de las butacas, lo que supondría una disminución económica.

5. Agradecimientos

Para concluir este documento, se quiere agradecer la participación de la Comunidad de Madrid por su aportación para el trabajo desarrollado en los apartados anteriores. Dicha colaboración ha sido posible gracias al programa de actividades SEGVAUTO-TRIES (“SEGuridad de los Vehículos AUTOmóviles, por un TRansporte Inteligente, Eficiente y Seguro”), cuya referencia es S2013/MIT-2713.

6. Referencias

- [1] B. Thacker. Verification and Validation for Computational Solid Mechanics, AIAA Structural Technical Committee, Santa Fe, NM, (2002).
- [2] N. Yoganandan, A. M. Nahum, J. W. Melvin. Accidental Injury, Biomechanics and Prevention, Springer, New York, USA, (2015).
- [3] H. Mertz, A. Irwin, J. Melvin, R. Stalnaker, M. Beebe. Size, Weight and Biomechanical Impact Response Requirements for Adult Size Small Female and Large Male Dummies. SAE International Congress and Exposition, Detroit, MI, (1989).
- [4] National Highway Traffic Safety Administration, Department of Transportations. Code of Federal Regulations Title 49 Transportation Chapter 5 Part 572 Anthropomorphic test devices Subpart E – Hybrid III Test Dummy(49 CFR 572.30), United States Government.
- [5] SAE Dummy Testing Equipment Subcommittee. User’s Manual for the Hybrid III Large Male Test Dummy Engineering Aid 26 Draft, Warrendale, PA, (2003).
- [6] Railway Group Standard. GM/RT2100 Issue 5 Requirements for Rail Vehicle Structures, Rail Safety and Standards Board Limited, (2012).